

Földalatti sivatagok: homoki erdők hatása a mélyebb talajrétegekre

HÁBENCZYUS ALIDA ANNA

Bevezetés

Bolygónk számos pontján találhatók fás és gyepek közösségek mozaikjából felépülő élőhely-komplexumok. Legelterjedtebb formáit a trópusi szavannák vagy a mérsékelt öv erdős sztyepp területei jelentik. A fás és lágyszárúak által dominált közösségek arányát az éghajlati viszonyok, a talajtani jellemzők, a tüzek gyakorisága, a különféle herbivórok hatásai és az emberi beavatkozások határozzák meg.¹ A kétféle vegetációtípus térbeli közelsége miatt ezeken az élőhelyeken jól vizsgálható a fák ökoszisztéma mérnök hatása, melynek nettó kimenetele a lágyszárú szintre tekintve lehet negatív (kompetíció) és pozitív (facilitáció) is a környező gyepekhez viszonyítva.² E kölcsönhatások meghatározzák az előforduló fajok populációinak tér- és időmintázatát, illetve jelentősen befolyásolják a tájszerkezet dinamizmusát is, így alapos megismerésük az ökológiai kutatások egyik kiemelt célja. Ennek megfelelően számos kutató vizsgálta már világszerte, miként fejtik ki hatásukat a fák a talaj szerkezetére, felsőbb rétegeinek nedvességtartalmára, a lombkorona alatti mikroklimára és az aljnövényzetre.³

A fák lombja felfogja a csapadék egy részét, amit aztán a lombkoronai evaporáció révén visszajuttat a légkörbe. A lombon keresztül hulló és a törzsön lefolyó víz a talajba kerül, a nagyobb gyökerek mentén a mélyebb talajrétegekbe is eljuthat.⁴ A lombkorona csapadék-visszatartó hatásából eredő vízvesztesség mértéke függ az adott fajtól, de általában pozitívan korrelál a növény méretével. A törzsön lefolyó víz mennyisége viszont szintén nő a faméret növekedésével. A talajba jutó víz arányát befolyásolja továbbá az esők gyakorisága és intenzitása, illetve a szélerősség is.⁵

A fényintenzitás csökkenése a lombkorona árnyékában akadályozhatja a lágyszárú produkciót. Másrésztől mérséklődik a talajt érő besugárzás, így nappal csökken a felmelegedés és az evaporációs veszteség is.⁶ Éjjel a lombkorona gátolja a sugárzásos hővesztéset, mely által az erdők hőt konzerválnak a fátlan területekhez képest.⁷ Ennek következtében azonban csökken a hajnali harmatképződés, ami rendkívül fontos nedvességforrás a száraz területek

¹ VAN LANGEWELDE et al. 2003; STAYER – ARCHIBALD – LEVIN 2011.

² SCHOLES – ARCHER 1997.

³ WELTZIN – COUGHENOR 1990; RHOADES – ECKERT – COLEMAN 1998; MA et al. 2010; FATTET et al. 2011.

⁴ LEE et al. 2018.

⁵ SPECHT 1957.

⁶ TIEDEMANN – KLEMMEDSON 1997.

⁷ D'ODORICO et al. 2013.

(szavannák, sztyeppék vagy az Ibériai-félsziget „dehesa” élőhelyei) növényzete számára.⁸

A fás szárúak lombja a légyszárú fajokhoz képest többnyire nagyobb ásványianyag-tartalmú, magasabb avarhozamú és alacsonyabb dekompozíciós rátával bír.⁹ A felhalmozódó avar a lombon keresztül hulló csapadékot felfogva majd elpárologtatva csökkenti a talajba beszivárgó nedvességet, viszont növeli a talaj ásványi anyag tartalmát. Ez a fás szárúakra jellemző tápanyag felhalmozás a különböző éghajlatokon egyaránt megfigyelhető. A jelenség hátterében valószínűleg három mechanizmus áll.¹⁰ A fák egyrészt ásványi anyag pumpákként működhetnek: a mélyebb talajrétegekből és a lombkorona-borításon kívüli, távolabbi területekről is tápanyagokat vesznek fel, amit aztán a lombhullás révén a közvetlen környezetükben koncentrálnak.¹¹ Másrészt a magas és szélnél ellenálló fák lombja hatékonyan fogja fel a levegőben szálló port, melynek ásványi anyag tartalmát az esők a talajba mossák. Ennek nagy jelentőséget tulajdonított *Bernhard-Reversat* (1982), *Escuerdo* (1985) és *Szott* (1991) is.

Célkitűzés

Elég jól ismert tehát, hogyan befolyásolják a fák ökoszisztéma mérnökként élő és élettelen környezetüket, kevésbé kutatott viszont a mélyebb talajrétegekre gyakorolt hatásuk. Jelen vizsgálatban arra kerestük a választ, hogy a mélyebb talajrétegek nedvességi viszonyainak éves alakulására milyen hatást gyakorolnak a fák a gyepekhez képest. A következő kérdéseket tettük fel: (1) Tapasztalható-e a fákra jellemző mikrokörnyezeti mérséklő hatás a homoki gyepekkel mozaikoló nyáras, akácós és fenyves erdőfoltokban is? (2) Hogyan hat a mélyebb talajrétegek nedvességére a fás vegetáció? (3) Hogyan árnyalja ezt a hatást a fák lombkorona-jellege?

Anyag és módszerek

Vizsgálati terület

A vizsgálat helyszínéül a Duna-Tisza közí homokhátságot választottuk. Itt az évi átlagos csapadék 550–600 mm, az évi átlagos középhőmérséklet 11–12°C,¹² az átlagos tengerszint feletti magasság pedig 110 és 130 m közé esik. Erdőssztyepp-klíma jellemző, melyen száraz kontinentális és szubmediterrán hatás is érvényesül. A területet borító homokot a Duna rakta le a Holocénben, meszet

⁸ AGAM – BERLINER 2006.

⁹ SCHOLES – ARCHER 1997.

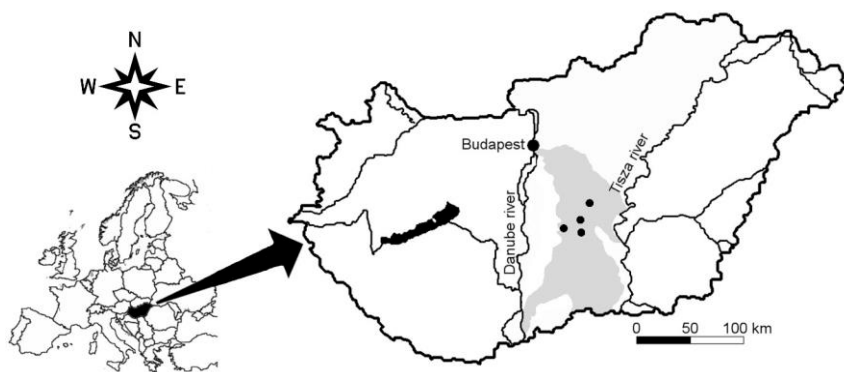
¹⁰ KELLMANN 1997.

¹¹ SCHOLES 1990.

¹² TÖLGYESI et al. 2015.

tartalmaz, ezért enyhén lúgos kémhatású,¹³ mely a klimatikus jellemzők mellett szintén szerepet játszik a vegetáció kialakításában.

A 18. század végén kezdődő erdőtelepítések következtében a térségben természetes, nagy levelű lombhullató erdőalkotók (*Populus alba*; SLA=11,2 mm²mg⁻¹) mellett kis levelű lombhullató (*Robinia pseudoacacia*; 17,9 mm²mg⁻¹) és örökzöld fajok (*Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*; 5,4 mm²mg⁻¹, forrás: LEDA adatbázis¹⁴) állományai is fellelhetők.¹⁵ Ezek mind némileg eltérő hatással lehetnek a talaj általános nedvességi állapotára. Továbbá a Kiskunság talaja mély és többnyire homogén homoktalaj,¹⁶ melyet a víz könnyen átjárhat, így a fás és gyepes közösségek esetlegesen eltérő hatásai feltehetően jól detektálhatók. Ráadásul az 1970-es évek óta jelentkezett jelentős talajvízszint-csökkenés¹⁷ következtében a jelenséget várhatóan nem befolyásolja talajvíz.



1. ábra: A vizsgálat helyszínei (fekete pontok) a Duna-Tisza közti homokhátság (szürke terület) középső régiójában

Négy helyszínen dolgoztunk: Fülöpháza, Ágasegyháza, Izsák és Méntelek vonzáskörzetében (1. ábra). Mind a négy helyszínen négy különböző, a homokhátság mai arculatára jellemző élőhelytípust választottunk ki: helyszínenként kettő nyílt homoki gyepet, egy-egy természetes nyárást (*Populus alba*), illetve egy-egy akácos (*Robinia pseudoacacia*) és fenyves (*Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*) faültetvényt. Így dolgoztunk helyszínenként öt élőhelyfoltban. Minden mintaterületet úgy választottunk, hogy megközelítőleg azonos térszínen helyezkedjenek el. A fás mintaterületek esetén homogén, idős állományokat választottunk, míg az elegyes telepítéseket kerültük. A gyepek esetén másodlagos, védett fajoktól mentes állományokban dolgoztunk, mivel a mérések

¹³ MOLNÁR 2003.

¹⁴ KLEYER et al. 2008.

¹⁵ BÍRÓ 2008.

¹⁶ BORSY 1968.

¹⁷ MOLNÁR 2003.

jelentős talajbolygatással járnak, mely az érzékeny homoki gyepek esetén hosszú ideig fennmaradó károsodást okozhat.

Mintavétel

A mintavételezést 2017 márciusa és 2018 januárja között végeztük, 5–7 hetes időközönként. Készítettünk lombkorona fotókat borításbecslés céljából, mértük a levegő hőmérsékletét és páratartalmát, egy alkalommal talajmintákat vettünk, melyek talajtani elemzésre kerültek, illetve minden alkalommal mértük a talaj nedvességtartalmát. A vizsgálat idejére vonatkozó csapadék adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat rendszeréből kértük el napi bontásban, a vizsgálati helyszíneinkhez legközelebb fekvő három mérőállomásról (1–3. táblázat).

Dátum	Csapadék (mm)	Dátum	Csapadék (mm)
2017.02.01-05.	21,8	2017.08.07-13.	3,8
2017.02.06-12.	6,8	2017.08.14-20.	3,6
2017.02.13-19.	0	2017.08.21-27.	0
2017.02.20-26.	0,2	2017.08.28-09.03.	32,8
2017.02.27-03.05.	14,2	2017.09.04-09.10.	0,1
2017.03.06-12.	12	2017.09.11-17.	39,5
2017.03.13-19.	4,8	2017.09.18.-24.	33,7
2017.03.20-26.	0,4	2017.09.25-10.01.	0
2017.03.27-04.02.	0	2017.10.02-08.	1,6
2017.04.03-09.	7,6	2017.10.09-15.	0
2017.04.10-16.	0,6	2017.10.16-22.	37,5
2017.04.17-23.	33,8	2017.10.23-29.	22,1
2017.04.24-30.	3,8	2017.10.30-11.05.	0
2017.05.01-07.	28,8	2017.11.06-12.	1,6
2017.05.08-14.	14,8	2017.11.13-19.	10,3
2017.05.15-21.	3,4	2017.11.20-26.	8,1
2017.05.22.-28.	25	2017.11.27-12.03.	18,9
2017.05.29-06.04.	0	2017.12.04-10.	16,2
2017.06.05-06.11.	1,4	2017.12.11-17.	41,7
2017.06.12-18.	6	2017.12.18-24.	1,8
2017.06.19-25.	20,1	2017.12.25-31.	1,7
2017.06.26-07.02.	40	2018.01.01-07.	2,3

Dátum	Csapadék (mm)	Dátum	Csapadék (mm)
2017.07.03-09.	1	2018.01.08-14.	7,4
2017.07.10-16.	15,5	2018.01.15-21.	10,5
2017.07.17-23.	0	2018.01.22-28.	0
2017.07.24-30.	39,6	2018.01.29-01.31.	0
2017.07.31-08.06.	22,9	Összesen:	619,7

1. táblázat: Az Országos Meteorológiai Szolgálat „Fülöpháza” mérőállomásáról származó heti csapadékösszegek 2017. február 1. és 2018.január 31. között

Dátum	Csapadék (mm)	Dátum	Csapadék (mm)
2017.02.01-05.	29,9	2017.08.07-13.	1,4
2017.02.06-12.	12,7	2017.08.14-20.	3,9
2017.02.13-19.	0	2017.08.21-27.	0
2017.02.20-26.	0,2	2017.08.28-09.03.	31,8
2017.02.27-03.05.	14	2017.09.04-09.10.	0,1
2017.03.06-12.	14,1	2017.09.11-17.	30
2017.03.13-19.	3,3	2017.09.18.-24.	39,6
2017.03.20-26.	0	2017.09.25-10.01.	0
2017.03.27-04.02.	0	2017.10.02-08.	1,3
2017.04.03-09.	13,9	2017.10.09-15.	0
2017.04.10-16.	0,5	2017.10.16-22.	34
2017.04.17-23.	30	2017.10.23-29.	23,7
2017.04.24-30.	3,7	2017.10.30-11.05.	0
2017.05.01-07.	61,9	2017.11.06-12.	2,1
2017.05.08-14.	41,2	2017.11.13-19.	7,4
2017.05.15-21.	4,4	2017.11.20-26.	6
2017.05.22.-28.	17,9	2017.11.27-12.03.	19,1
2017.05.29-06.04.	0	2017.12.04-10.	15,3
2017.06.05-06.11.	0	2017.12.11-17.	42,4
2017.06.12-18.	4,7	2017.12.18-24.	2
2017.06.19-25.	46,3	2017.12.25-31.	1,5
2017.06.26-07.02.	15	2018.01.01-07.	2,1

Dátum	Csapadék (mm)	Dátum	Csapadék (mm)
2017.07.03-09.	1,7	2018.01.08-14.	6,1
2017.07.10-16.	10,7	2018.01.15-21.	9,5
2017.07.17-23.	0	2018.01.22-28.	0
2017.07.24-30.	43,6	2018.01.29-01.31.	0
2017.07.31-08.06.	41,1	Összesen:	690,1

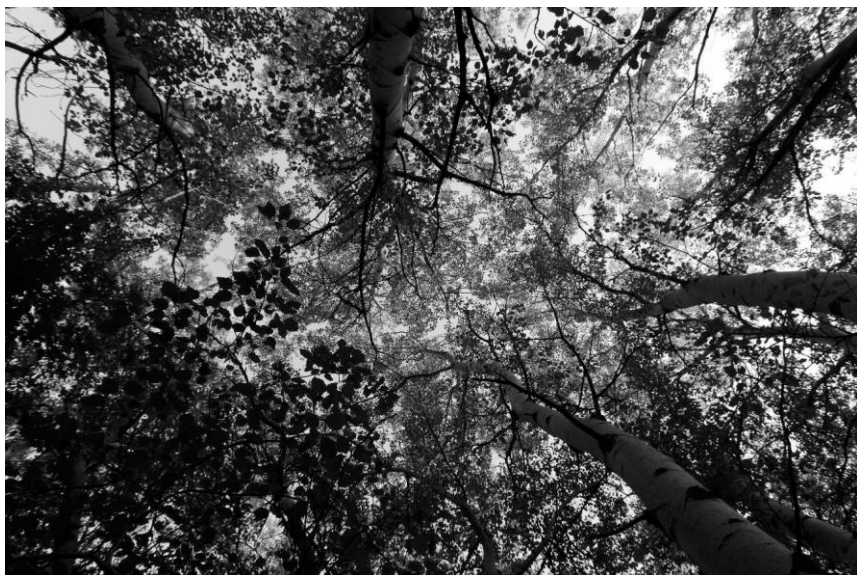
2. táblázat: Az Országos Meteorológiai Szolgálat „Izsák” mérőállomásáról származó heti csapadékösszegek 2017. február 1. és 2018.január 31. között

Dátum	Csapadék (mm)	Dátum	Csapadék (mm)
2017.02.01-05.	23	2017.08.07-13.	8
2017.02.06-12.	14,9	2017.08.14-20.	3,2
2017.02.13-19.	0	2017.08.21-27.	0
2017.02.20-26.	0,1	2017.08.28-09.03.	26,4
2017.02.27-03.05.	14	2017.09.04-09.10.	0,3
2017.03.06-12.	11,1	2017.09.11-17.	45,8
2017.03.13-19.	5,9	2017.09.18.-24.	38,1
2017.03.20-26.	0,3	2017.09.25-10.01.	0
2017.03.27-04.02.	0	2017.10.02-08.	1,6
2017.04.03-09.	5,7	2017.10.09-15.	0
2017.04.10-16.	0,4	2017.10.16-22.	36,2
2017.04.17-23.	52,4	2017.10.23-29.	29,6
2017.04.24-30.	3	2017.10.30-11.05.	0,2
2017.05.01-07.	20,4	2017.11.06-12.	1,1
2017.05.08-14.	16,6	2017.11.13-19.	8,4
2017.05.15-21.	6,2	2017.11.20-26.	7,9
2017.05.22.-28.	9,7	2017.11.27-12.03.	23,1
2017.05.29-06.04.	0	2017.12.04-10.	17,3
2017.06.05-06.11.	0,9	2017.12.11-17.	49,7
2017.06.12-18.	6,1	2017.12.18-24.	2
2017.06.19-25.	29,3	2017.12.25-31.	0,8
2017.06.26-07.02.	22,6	2018.01.01-07.	1,7

Dátum	Csapadék (mm)	Dátum	Csapadék (mm)
2017.07.03-09.	0,1	2018.01.08-14.	12,9
2017.07.10-16.	19,3	2018.01.15-21.	10
2017.07.17-23.	8,6	2018.01.22-28.	0,1
2017.07.24-30.	29,5	2018.01.29-01.31.	0
2017.07.31-08.06.	14,7	Összesen:	639,2

3. táblázat: Az Országos Meteorológiai Szolgálat „Kecskemét K-pusztá” mérőállomásáról származó heti csapadékösszegek 2017. február 1. és 2018. január 31. között

A lombkorona párologtatásának és a hulló csapadékot felfogó képességének közelítésére a lombkorona százalékos borítási értékét használtuk. A lombkorona borításának becsléséhez a fás típusok esetén mintaterületenként négy digitális fotót készítettünk Canon EOS 650D fényképezőgéppel, Canon EFS 10–22 mm-es széleslátószögű objektívvel. A képek 10 mm-es gyújtótávolsággal készültek, 100 cm-es magasságból (*1. kép*). A gyepi területeken nem készítettünk fényképeket, mivel lombkorona-borítás ezeken a területeken nem volt, ez által lombkoronán keresztül távozó, elpárolgott vizet, illetve lombkorona által felfogott csapadékot nem feltételeztünk.



1. kép: A 2017. augusztusi mintavételezéskor készült digitális fotó az izsáki nyáras lombkorona-borításáról

A mintavételek alkalmával minden helyszínen mikroklíma-mérő műszereket helyeztünk el (Voltcraft DL-121TH, 0,9%-os pontosság, Conrad Electronic SE, Hirschau, Németország), melyek legalább 24 órán keresztül, 1 percenként rögzítették a talaj feletti 2–3 cm-es légréteg hőmérsékletét (°C) és relatív páratartalmát (%). Januárban a jelentős hótakaró miatt nem mértük a mikroklimatikus viszonyokat.



2. kép: Talajnedvesség-mérés és talajmintavétel az ágasegyházi akácosban, 2017 októberében

Októberben minden helyszínen minden élőhelytípusban talajmintát vettünk, 10–20 cm és 70–80 cm közötti mélységekből (2. kép). A minták talajtani elemzését a Debreceni Egyetem Agrár Műszerközpont laborjában végezték. Vizsgált talajparaméterek: pH, CaCO_3 (m/m%), szerves szén (továbbiakban: humusz) (m/m%), P_2O_5 (mg/kg) és KCl-oldható nitrogéntartalom (mg/kg), valamint a szemcseméret (az adott mérettartományba tartozó részecskék tömegszázalékos arányával kifejezve). Mérték ezen kívül a talaj kötöttségét és vízdoldható összes sótartalmát (m/m%).

A talaj térfogatszázalékos nedvességtartalmát 0-tól 120 cm-es mélységig, 10 cm-es közökkel time-domain reflektométerrel (Fieldscout TDR 300, 0,3%-os pontosság, Spectrum Technologies, Bridgend, Egyesült Királyság) mértük (3. kép). Minden alkalommal minden helyszín minden élőhelyén két-két lyukat fúrtunk a talajba kézi lyukfúróval és minden furat minden mélységszintjében három mérést végeztünk, mely által összesen 13824 talajnedvességi adatot vettünk fel a teljes vizsgálatban. Azért döntöttünk a 120 cm mély talajszelvények

vizsgálata mellett, mert a nyár és az akác gyökérdenzitása 20–80 cm, illetve 20–60 cm mélyen a legnagyobb,¹⁸ a fenyő fajok fő gyökértömege pedig a felső 50 cm-es talajrétegben található.¹⁹



**3. kép: Egy lemerít gyepi mintavételi hely és a TDR Fülőpháza közelében,
2017 decemberében**

¹⁸ CAO et al. 2007.

¹⁹ HOFFMANN – UTOLSEV 2011.

Adatfeldolgozás

A lombkorona-borításról készült felvételeket GIMP szoftver (verziószám: 2.10.8.) segítségével, manuális küszöbbeállítás mellett fekete-fehérre konvertáltuk, melyeken a fekete pixeleknek a lomb, illetve a fák törzse és ágai feleltek meg, míg a fehér pixelek az égboltot reprezentálták. A borítást így a fekete pixelek százalékos értékével tudtuk számszerűsíteni.

A mikroklíma-mérő műszerek adataiból minden alkalommal egy-egy 24 órás periódust választottunk ki, 10 percenként átlagolva az adatokat, melyeket a napkelte és napnyugta időpontja szerint nappali és éjszakai adatokra bontottunk. A helyszínek közötti különbségeket úgy küszöböltük ki, hogy a fás élőhelyek 10 perces értékeit az azonos helyszínek azonos 10 perces átlagos gyepi értékeivel standardizáltuk (kivontuk belőlük), és a kapott különbségeket átlagoltuk le a négy élőhely között. A kapott átlagos gyeptől való eltéréseken további elemzést nem végeztünk.

A talajminták szitaanalízise során hat frakciót különítettek el, melyeket két nagyobb kategóriába vontunk össze. A statisztikai elemzést így két frakcióra végeztük: 0,250 mm-nél nagyobb és 0,250 mm-nél kisebb átmérőjű mérettartományra (a továbbiakban nagy és kis frakció). Kevert lineáris modellekkel dolgoztunk, melyekben magyarázó változóként szerepelt az élőhely típusa (négy szint: nyáras, akácos, fenyves és gyepe) és a mélység (két szint: felső és alsó talajréteg), a helyszín pedig random tényező volt.

A talajnedvességi adatok esetén 20 centiméterenként átlagoltuk az adott mélységszinthez tartozó két furatban mért három-három (tehát összesen hat) ismétlést. A kapott értékekre kevert lineáris modelleket írtunk fel, melyekben a magyarázó változó az élőhelytípus, a random tényező pedig a helyszín volt. Minden hónapban minden mélységre külön modelleket írtunk fel. Hasonló elrendezésű modelleket készítettünk a lombkorona-borítás értékeire is.

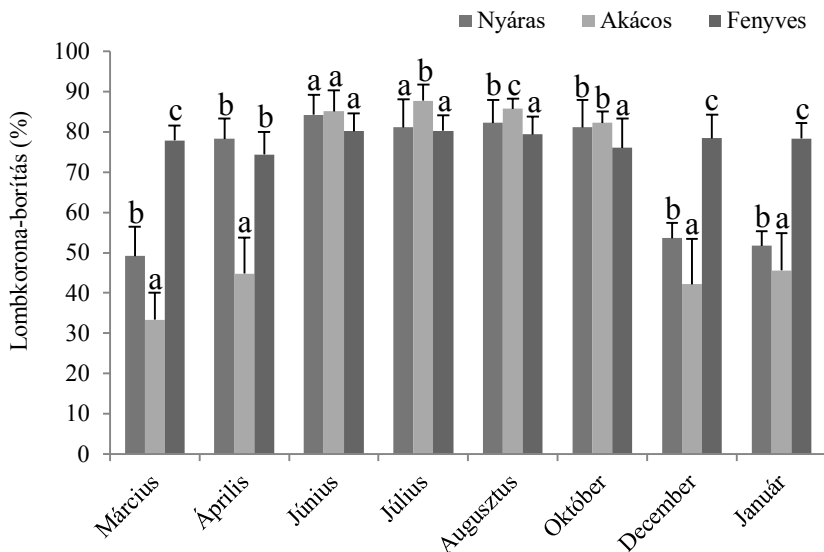
Az elemzéseket az R szoftverkörnyezetben végeztük (*R Core Team 2017*). A talajnedvesség-, lombkorona-borítás és talajösszetételi adatokra felírt modelleket az *nlme* csomag²⁰ *lme* függvényével készítettük; a kapott modellek szignifikanciáját az ANOVA függvény segítségével teszteltük. Szignifikáns eredmény esetén elvégeztük a páronkénti összehasonlításokat is. A többszörös összehasonlítás miatt modellenként a p-értékeken korrekciót alkalmaztunk az *fdr* (*false discovery rate*) módszer segítségével. Szignifiánsnak a $p < 0,05$ értékeket tekintettük.

²⁰ PINHEIRO et al. 2018.

Eredmények és értékelésük

Lombkoronaborítás

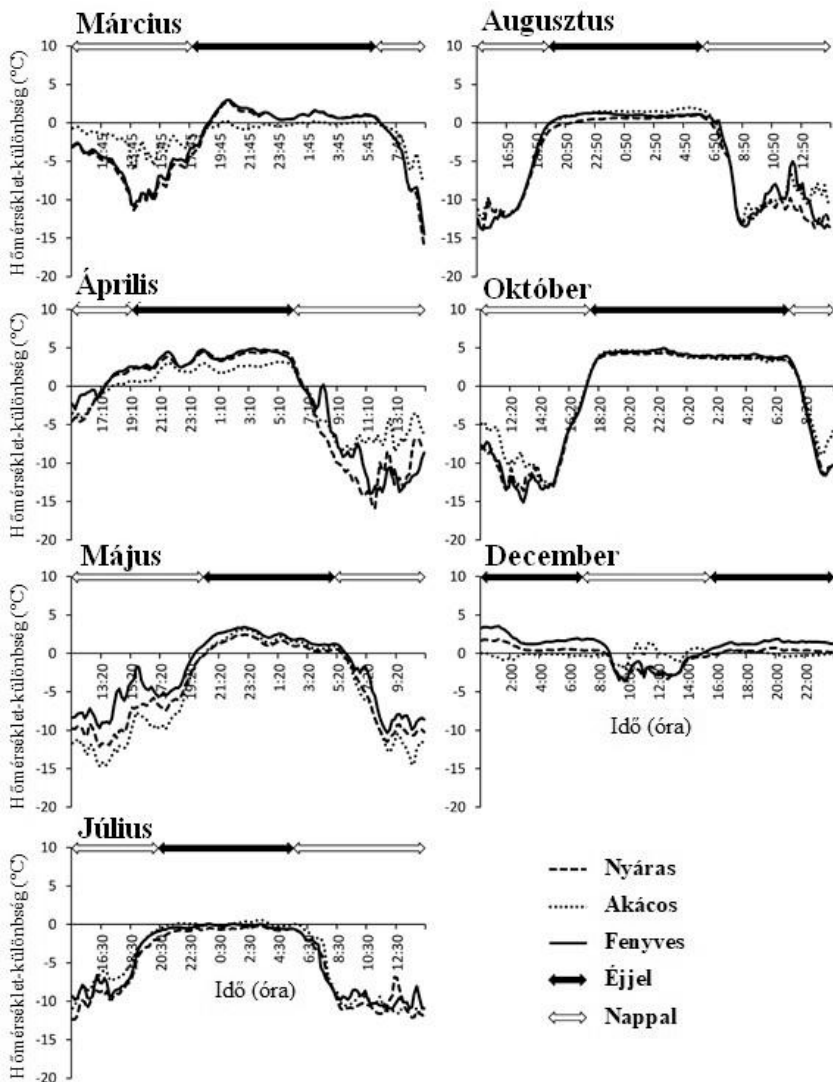
Márciusban a fenyves nagyobb lombkorona-borítással rendelkezett a másik két erdőtípusnál (2. ábra; 4. táblázat). Áprilisra lombot bontott a nyáras is, az akácos lombkorona-záródása viszont csak júniusra közelítette meg az előbbi két erdőtípusét. Decemberre mindkét vizsgált lombhullató fafaj (akác, nyár) elvesztette lombját, s a januári és márciusi állapotokhoz hasonlóan kisebb záródottságot mutattak, mint a fenyves. Júliusban, augusztusban és októberben is tapasztaltunk ugyan szignifikáns különbségeket az egyes erdőtípusok lombkorona-borítás értékei között, azonban ezek abszolútértékben elég csekély eltéréseket jelentenek ahhoz, hogy ne tulajdonítsunk nekik ökológiai jelentőséget (2. ábra).



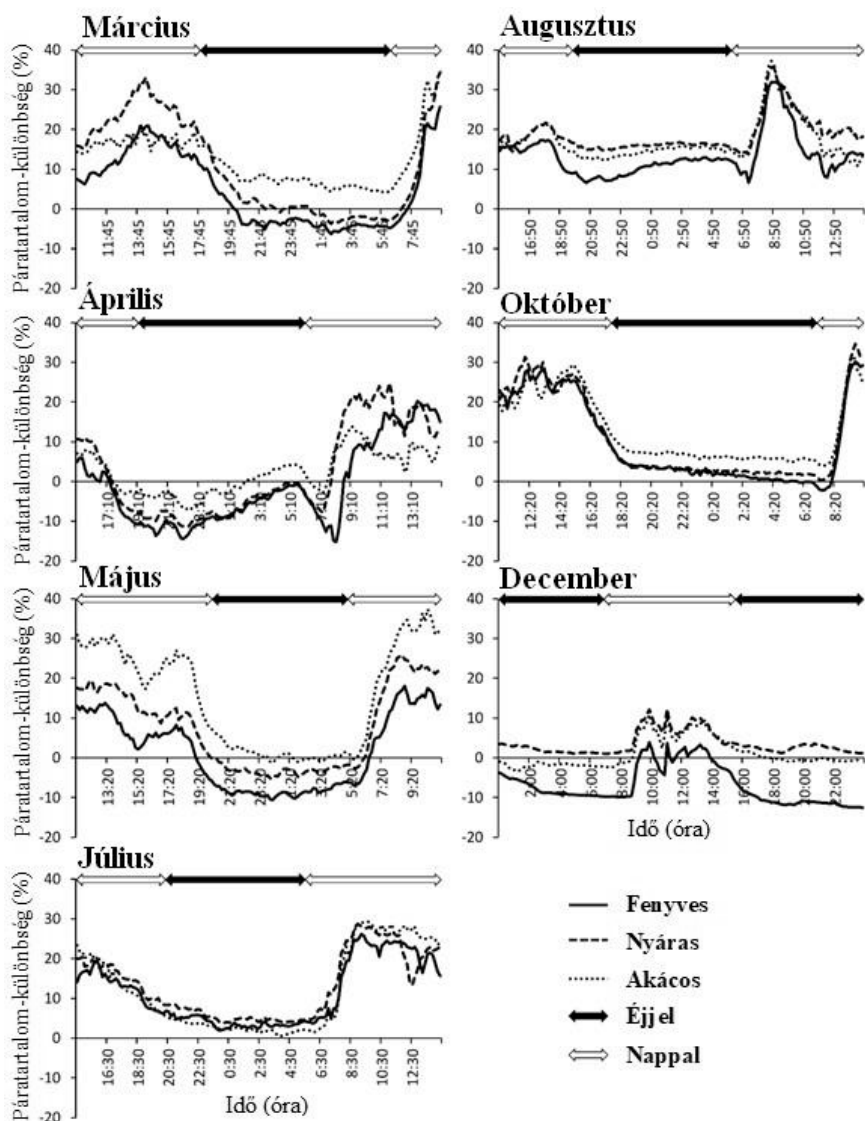
2. ábra: A lombkorona-borítás százalékos értékei különböző homoki erdőtípusok esetén egy teljes év során. A borításértékek közötti szignifikancia-viszonyokat jelző betűk (a, b, c) az adott mérési alkalomhoz tartozó adatokra értendők

A levegő hőmérséklete és páratartalma

A vizsgált fás élőhelyek levegőjének hőmérséklete nappal egész évben alacsonyabb, éjszaka pedig július kivételével egész évben magasabb értékeket vett fel, mint azonos időpillanatban a vizsgált gyepeken mért hőmérsékletek (3. ábra). A relatív páratartalom-értékek nappal az erdőkben egész évben magasabbnak mutatkoztak a gyepekhez képest, éjszaka azonban nem minden alkalommal volt „szárazabb” az erdei mikroklíma (4. ábra).



3. ábra: A levegő hőmérsékletének napi változása a vizsgált homoki nyárasokban, akácosokban és fenyvesekben a homoki gyepekhez képest. A negatív és pozitív értékek jelzik, hogy adott időpontban az erdőkben alacsonyabb vagy magasabb hőmérséklet értékek mutatkoztak, mint a gyepeken



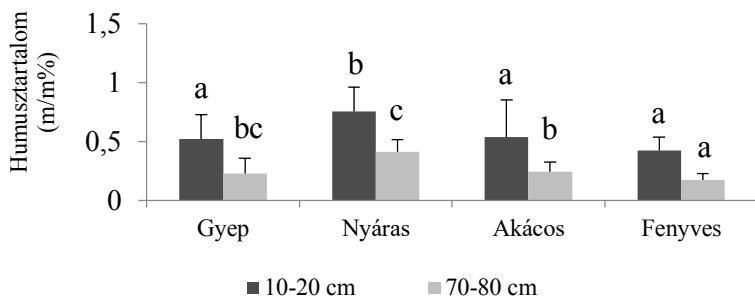
4. ábra: A levegő relatív páratartalmának napi változása a vizsgált homoki nyárasokban, akácosokban és fenyvesekben a homoki gyepekhez képest. A negatív és pozitív értékek jelzik, hogy adott időpontban az erdőben alacsonyabb vagy magasabb páratartalom értékek mutatkoztak, mint a gyepeken

	Március		Április		Június		Július	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	109,46	<0,001	96,64	<0,001	1,8	0,204	5,95	0,01
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Nyár – Fenyő	9,41	<0,001*	-1,49	0,153	-	-	-0,37	0,718
Nyár – Akác	-5,18	<0,001*	-12,72	<0,001*	-	-	2,79	0,012*
Akác – Fenyő	14,59	<0,001*	11,22	<0,001*	-	-	-3,15	0,006*
	Augusztus		Október		December		Január	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	15,14	<0,001	4,87	0,013	141,64	<0,001	107,52	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Nyár – Fenyő	-0,37	0,718	-2,41	0,021*	11,25	<0,001*	11,2	<0,001*
Nyár – Akác	2,79	0,012*	0,52	0,608	-5,21	<0,001*	-2,6	0,014*
Akác – Fenyő	-3,15	0,006*	-2,92	0,006*	16,47	<0,001*	13,8	<0,001*

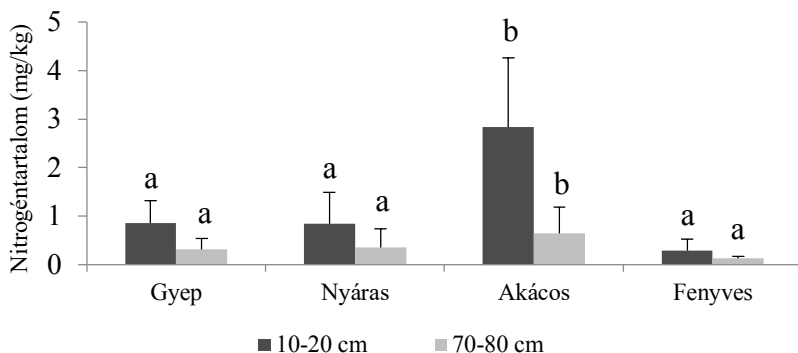
4. táblázat: Különböző homoki erdőtípusok éves lombkorona-borítás adataira felírt kevert modellek statisztikai teszt eredményei. A szignifikáns értékeket * jelöli

	Felső talajréteg (10-20 cm)			Alsó talajréteg (70-80 cm)		
	átlag		szórás	átlag		szórás
P ₂ O ₅ (mg/kg)	43,74	±	16,52	26	±	16,43
CaCO ₃ (m/m%)	1,91	±	1,05	2,21	±	1,13

5. táblázat: A talaj foszfor- (mg/kg) és kalciumkarbonát-tartalmának (m/m%) átlagértékei és szórása a vizsgált homoki élőhelyek alsó és felső talajrétegében



5. ábra: A vizsgált homoki élőhelyek talajának humusztartalma, 10–20 cm-es és 70–80 cm-es mélységben. A különböző élőhelytípusok közötti szignifikancia-viszonyokat jelző betűk (a, b, c) az adott talajrétegen belül értendők



6. ábra A vizsgált homoki élőhelyek talajának nitrogéntartalma, 10–20 cm-es és 70–80 cm-es mélységben. A különböző élőhelytípusok közötti szignifikancia-viszonyokat jelző betűk (a, b) az adott talajrétegen belül értendők

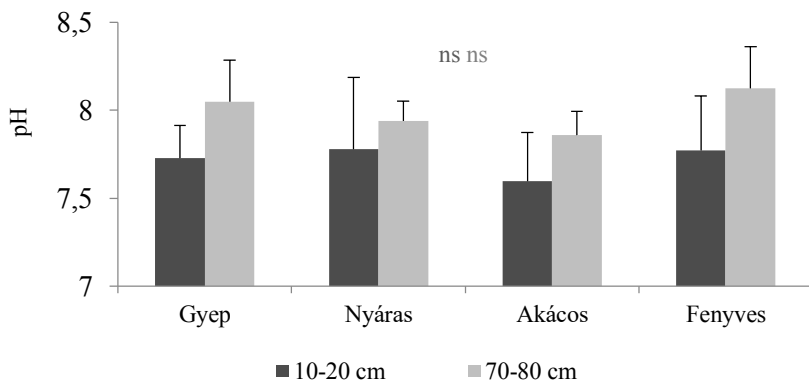
	Humusz (m/m%)		Nitrogén (mg/kg)		pH	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Élőhely	9,6	<0,001*	23,65	<0,001*	2,92	0,040*
Mélység	71,61	<0,001*	26,7	<0,001*	32,35	<0,001*
10–20 cm	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Nyár – Akác	-2,41	0,048*	7,11	<0,001*	-1,45	0,392
Nyár – Fenyő	-3,52	0,004*	-1,19	0,324	-0,07	0,945
Nyár – Gyep	-2,95	0,018*	0,74	0,506	-0,46	0,769
Akác – Fenyő	-1,11	0,329	-8,3	<0,001*	1,38	0,392
Akác – Gyep	-0,17	0,865	-7,47	<0,001*	1,21	0,399
Fenyő – Gyep	1,11	0,329	2,11	0,072	-0,38	0,769
70–80 cm	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
Nyár – Akác	-2,37	0,048*	3,09	0,008*	-0,83	0,549
Nyár – Fenyő	-4,13	0,001*	-1,05	0,361	1,95	0,24
Nyár – Gyep	-3,59	0,004*	-0,02	0,981	1,32	0,392
Akác – Fenyő	-1,76	0,151	-4,14	<0,001*	2,78	0,108
Akác – Gyep	-0,85	0,436	-3,59	0,002*	2,78	0,174
Fenyő – Gyep	1,18	0,329	1,19	0,324	-0,93	0,539

6. táblázat: A vizsgált homoki élőhelyek talajának humusz-, nitrogéntartalom-, illetve pH-értékeire felírt kevert modellek statisztikai teszteredményei. A szignifikáns értékeket * jelöli

A talaj összetétele

A vizsgált talajtani paraméterek mindegyike szignifikánsan különböző értékeket mutatott a felső, 10–20 cm közötti és az alsó, 70–80 cm közötti rétegben. Nem tért el a különböző élőhelyek talajának foszfortartalma (mélység: $F=18,82$, $p<0,001$ és élőhely: $F=1,17$, $p=0,33$) és kalciumkarbonát-tartalma (mélység: $F=11,37$, $p=0,001$ és élőhely: $F=0,43$, $p=0,785$). Ezen paraméterek értékeinek átlagát és szórását az 5. táblázat tartalmazza.

Szignifikáns különbséget a humusz- és nitrogéntartalmat, valamint a pH-t tekintve tapasztaltunk az egyes élőhelytípusok között. Ezen paraméterek értékeire felírt kevert modellek statisztikai teszt eredményeit a 6. táblázatban foglaltam össze. A nyáras talajának humusztartalma ($0,76\pm0,20$ m/m%, illetve $0,41\pm0,10$ m/m%) (átlag \pm SD) a felső és az alsó talajrétegben egyaránt magasabbnak bizonyult a többi élőhelytípushoz képest (összevont átlagok: $0,49\pm0,22$ m/m% és $0,21\pm1,19$ m/m%). Az alsó talajrétegben emellett magasabb volt az akác talajának humusztartalma ($0,24\pm0,09$ m/m%), mint a fenyvesé ($0,17\pm0,05$ m/m%) (5. ábra). A talaj nitrogéntartalma az akácban a felsőbb és alsóbb talajrétegekben ($2,84\pm1,42$ mg/kg és $0,87\pm0,70$ mg/kg) egyaránt magasabbnak bizonyult minden más élőhelytípus talajához képest (összevont átlagok: $0,66\pm0,53$ mg/kg és $0,27\pm0,25$ mg/kg) (6. ábra). A teljes modell szerint a talaj pH-ja minden élőhelytípus esetében magasabbnak bizonyult az alsóbb talajrétegekben (összevont átlagok: $7,72\pm0,28$ és $7,99\pm0,22$). A páronkénti összehasonlítások azonban nem adtak szignifikáns eredményt (7. ábra).



7. ábra: A vizsgált homoki élőhelyek talajának pH-ja, 10–20 cm-es és 70–80 cm-es mélységben. ns: nincs szignifikáns eltérés

A talaj térfogatszázalékos nedvességtartalma

A talajnedvesség esetében több mélységben szignifikáns eltéréseket kaptunk a különböző élőhelytípusok között minden mérési alkalom esetén. A felírt kevert modellek statisztikai teszteredményeit a 7. táblázatban foglaltam össze.

Március	20 cm		40 cm		60 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	8,81	<0,001	13,76	<0,001	15,48	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	4,53	<0,001*	2,77	0,011*	0,46	0,903
<i>Gyep – Fenyő</i>	1,32	0,227	-4,17	<0,001*	-6,07	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	3,66	0,003*	1,57	0,144	0,1	0,923
<i>Nyár – Fenyő</i>	-2,78	0,014*	-6,01	<0,001*	-5,65	<0,001*
<i>Nyár – Akác</i>	-0,75	0,451	-1,03	0,305	-0,32	0,903
<i>Akác – Fenyő</i>	-2,02	0,071	-4,98	<0,001*	-5,34	<0,001*
Április	20 cm		40 cm		60 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	27,37	<0,001	10,43	<0,001	32,78	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	7,9	<0,001*	3,76	<0,001*	0,15	0,88
<i>Gyep – Fenyő</i>	3,31	0,002*	-2,41	0,027*	-9,3	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	6,8	<0,001*	1,63	0,107	-2,45	0,024*
<i>Nyár – Fenyő</i>	-3,98	<0,001*	-5,35	<0,001*	-8,18	<0,001*
<i>Nyár – Akác</i>	-0,96	0,34	-1,84	0,083	-2,25	0,033*
<i>Akác – Fenyő</i>	-3,02	0,004*	-3,5	0,002*	-5,93	<0,001*

Június	20 cm		40 cm		60 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	10,63	<0,001	33,85	<0,001	50,95	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	3,81	<0,001*	-4,55	<0,001*	-6,23	<0,001*
<i>Gyep – Fenyő</i>	-1,7	0,111	-9,6	<0,001*	-11,7	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	2,88	0,008*	-6,03	<0,001*	-7,35	<0,001*
<i>Nyár – Fenyő</i>	-4,77	<0,001*	-4,37	<0,001*	-4,74	<0,001*
<i>Nyár – Akác</i>	-0,81	0,422	-1,28	0,206	-0,97	0,336
<i>Akác – Fenyő</i>	-3,97	<0,001*	-3,09	0,003*	-3,77	<0,001*
Július	20 cm		40 cm		60 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	22,89	<0,001	74,96	<0,001	96,2	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	-0,78	0,436	-10,92	<0,001*	-12,23	<0,001*
<i>Gyep – Fenyő</i>	-4,22	<0,001*	-12,5	<0,001*	-15,17	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	5,23	<0,001*	-2,06	0,051*	-7,59	<0,001*
<i>Nyár – Fenyő</i>	-2,98	0,005*	-1,37	0,174	-2,54	0,013*
<i>Nyár – Akác</i>	5,21	<0,001*	7,67	<0,001*	4,02	<0,001*
<i>Akác – Fenyő</i>	-8,19	<0,001*	-9,04	<0,001*	-6,56	<0,001*
Augusztus	20 cm		40 cm		60 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	9,2	<0,001	55,57	<0,001	62,03	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	1,35	0,18	-9,1	<0,001*	-9,57	<0,001*
<i>Gyep – Fenyő</i>	-1,8	0,09	-11,56	<0,001*	-11,56	<0,001*

<i>Gyep – Akác</i>	3,97	<0,001*	-3,83	<0,001*	-3,83	<0,001*
<i>Nyár – Fenyő</i>	-2,74	0,016*	-2,14	0,036*	-2,14	0,040*
<i>Nyár – Akác</i>	2,27	0,039*	1,46	<0,001*	4,56	0,147
<i>Akác – Fenyő</i>	-5	<0,001*	-3,55	<0,001*	-6,69	0,001*
Október	20 cm		40 cm		60 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	16,9	<0,001	72,25	<0,001	50,59	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	2,59	0,017*	-7,91	<0,001*	-9,4	<0,001*
<i>Gyep – Fenyő</i>	-2,12	0,038*	-12,26	<0,001*	-10,41	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	5,44	<0,001*	1,41	0,163	-3,14	0,003*
<i>Nyár – Fenyő</i>	-4,08	<0,001*	-3,76	<0,001*	-0,87	0,386
<i>Nyár – Akác</i>	2,47	0,019*	8,07	<0,001*	5,42	<0,001*
<i>Akác – Fenyő</i>	-6,55	<0,001*	-11,84	<0,001*	-6,29	<0,001*
December	20 cm		40 cm		60 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	9,98	<0,001	4,56	0,006	9,05	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	3,26	0,003*	2,32	0,046*	1,09	0,338
<i>Gyep – Fenyő</i>	3,52	0,002*	-1,7	0,14	-4,44	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	4,94	<0,001*	1,23	0,267	-0,61	0,544
<i>Nyár – Fenyő</i>	0,23	0,821	-3,49	0,005*	-4,78	<0,001*
<i>Nyár – Akác</i>	1,46	0,225	-0,95	0,348	-1,47	0,22
<i>Akác – Fenyő</i>	-1,23	0,268	-2,54	0,040*	-3,31	0,003*

Január	20 cm		40 cm		60 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	3,51	0,02	19,33	<0,001	9,8	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	1,61	0,167	2,63	0,016*	-0,34	0,734
<i>Gyep – Fenyő</i>	-2,12	0,113	-5,58	<0,001*	-5,21	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	-0,1	0,923	1,15	0,254	-1,56	0,185
<i>Nyár – Fenyő</i>	-3,23	0,011*	-7,1	<0,001*	-4,22	<0,001*
<i>Nyár – Akác</i>	-1,48	0,172	-1,28	0,246	-1,05	0,355
<i>Akác – Fenyő</i>	-1,75	0,167	-5,83	<0,001*	-3,16	0,005*

Március	80 cm		100 cm		120 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	2,93	0,075	0,18	0,912	0,4	0,751
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Gyep – Fenyő</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Gyep – Akác</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Nyár – Fenyő</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Nyár – Akác</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Akác – Fenyő</i>	-	-	-	-	-	-

Április	80 cm		100 cm		120 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	85,26	<0,001	18,86	<0,001	13,99	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	-1,72	0,108	-3,51	0,002*	-3,77	<0,001*
<i>Gyep – Fenyő</i>	-12,9	<0,001*	-6,89	<0,001*	-5,49	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	-2,8	0,010*	-0,11	0,916	0,21	0,838

<i>Nyár – Fenyő</i>	-9,68	<0,001*	-2,93	0,006*	-1,49	0,168
<i>Nyár – Akác</i>	-0,94	0,352	2,95	0,006*	3,44	0,002*
<i>Akác – Fenyő</i>	-8,75	<0,001*	-5,87	<0,001*	-4,93	<0,001*
Június	80 cm		100 cm		120 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	52,92	<0,001	27,06	<0,001	31,91	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	-6,48	<0,001*	-5,6	<0,001*	-7,55	<0,001*
<i>Gyep – Fenyő</i>	-12,21	<0,001*	-8,33	<0,001*	-8,01	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	-6,3	<0,001*	-5	<0,001*	-5,9	<0,001*
<i>Nyár – Fenyő</i>	-4,96	<0,001*	-2,36	0,025*	-0,4	0,692
<i>Nyár – Akác</i>	0,15	0,883	0,53	0,599	1,43	0,188
<i>Akác – Fenyő</i>	-5,11	<0,001*	-2,89	0,008*	-1,83	0,107
Július	80 cm		100 cm		120 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	137,35	<0,001	171,61	<0,001	64,25	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	-15,51	<0,001*	-17,99	<0,001*	-10,82	<0,001*
<i>Gyep – Fenyő</i>	-17,08	<0,001*	-18,12	<0,001*	-11	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	-11,29	<0,001*	-13,66	<0,001*	-8,88	<0,001*
<i>Nyár – Fenyő</i>	-1,36	0,179	-0,11	0,91	-0,15	0,879
<i>Nyár – Akác</i>	3,66	0,001*	3,75	<0,001*	1,68	0,117
<i>Akác – Fenyő</i>	-5,02	<0,001*	-3,87	<0,001*	-1,83	0,106

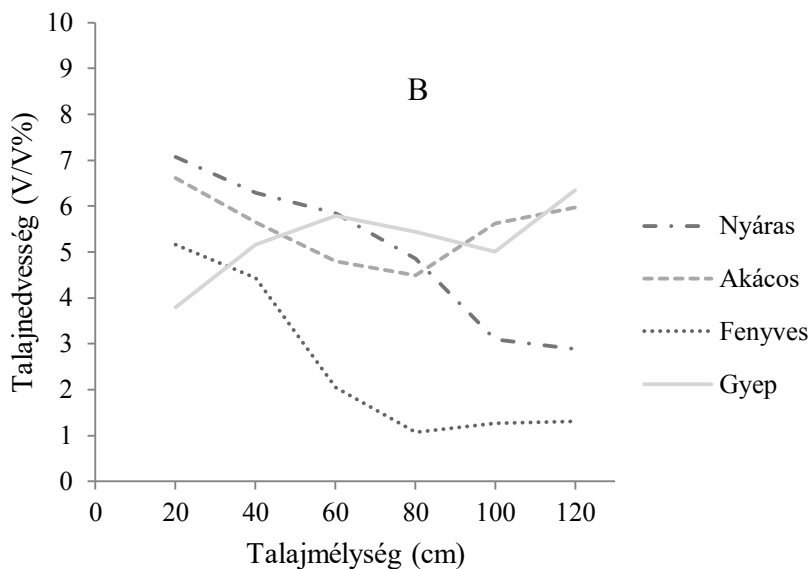
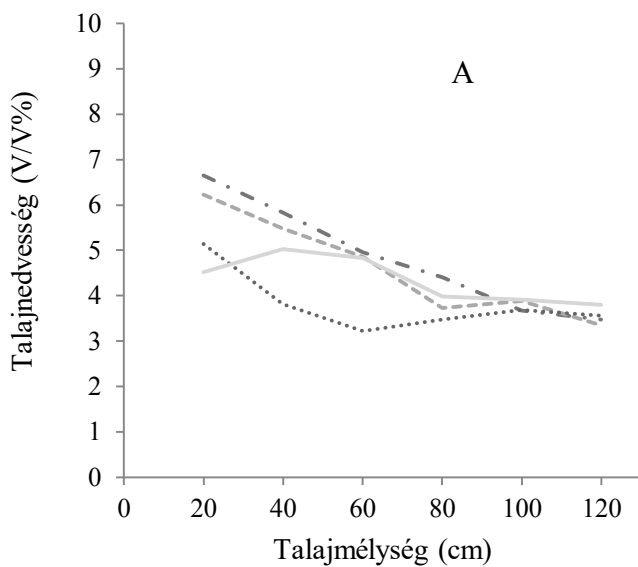
Augusztus	80 cm		100 cm		120 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	50,69	<0,001	38,49	<0,001	64,86	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	-9,13	<0,001*	-7,95	<0,001*	-10,47	<0,001*
<i>Gyep – Fenyő</i>	-10,22	<0,001*	-8,39	<0,001*	-10,87	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	-7,84	<0,001*	-7,64	<0,001*	-9,78	<0,001*
<i>Nyár – Fenyő</i>	-0,94	0,351	-0,38	0,786	-0,35	0,728
<i>Nyár – Akác</i>	1,12	0,321	0,27	0,786	0,59	0,665
<i>Akác – Fenyő</i>	-2,06	0,065	-0,65	0,776	-0,94	0,523
Október	80 cm		100 cm		120 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	18,67	<0,001	16,42	<0,001	16,26	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	-6,42	<0,001*	-5,71	<0,001*	-5,71	<0,001*
<i>Gyep – Fenyő</i>	-5,71	<0,001*	-5,32	<0,001*	-5,58	<0,001*
<i>Gyep – Akác</i>	-2,43	0,021*	-1,05	0,354	-1,94	0,068
<i>Nyár – Fenyő</i>	0,62	0,538	0,34	0,736	0,12	0,908
<i>Nyár – Akác</i>	3,46	0,002*	4,03	<0,001*	3,27	0,003*
<i>Akác – Fenyő</i>	-2,84	0,009*	-3,7	<0,001*	-3,15	0,003*
December	80 cm		100 cm		120 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	36,13	<0,001	25,78	<0,001	30,96	<0,001
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	1,24	0,22	-1,84	0,07	-4,61	<0,001*
<i>Gyep – Fenyő</i>	-9,3	<0,001*	-8,26	<0,001*	-9,41	<0,001*

<i>Gyep – Akác</i>	-2,81	0,008*	-5,14	<0,001*	-4,75	<0,001*
<i>Nyár – Fenyő</i>	-9,12	<0,001*	-5,56	<0,001*	-4,16	<0,001*
<i>Nyár – Akác</i>	-3,5	0,001*	-2,86	0,008*	-0,13	0,9
<i>Akác – Fenyő</i>	5,62	<0,001*	-2,7	0,010*	-4,03	<0,001*
Január	80 cm		100 cm		120 cm	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Teljes modell	8,81	<0,001	1,59	0,2	3,72	0,015
	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
<i>Gyep – Nyár</i>	0,92	0,361	-	-	-2,37	0,062
<i>Gyep – Fenyő</i>	-4,43	<0,001*	-	-	-1,75	0,17
<i>Gyep – Akác</i>	-1,4	0,197	-	-	-2,97	0,024*
<i>Nyár – Fenyő</i>	-4,64	<0,001*	-	-	0,54	0,605
<i>Nyár – Akác</i>	-2,01	0,072	-	-	-0,52	0,605
<i>Akác – Fenyő</i>	-2,62	0,021*	-	-	1,06	0,441

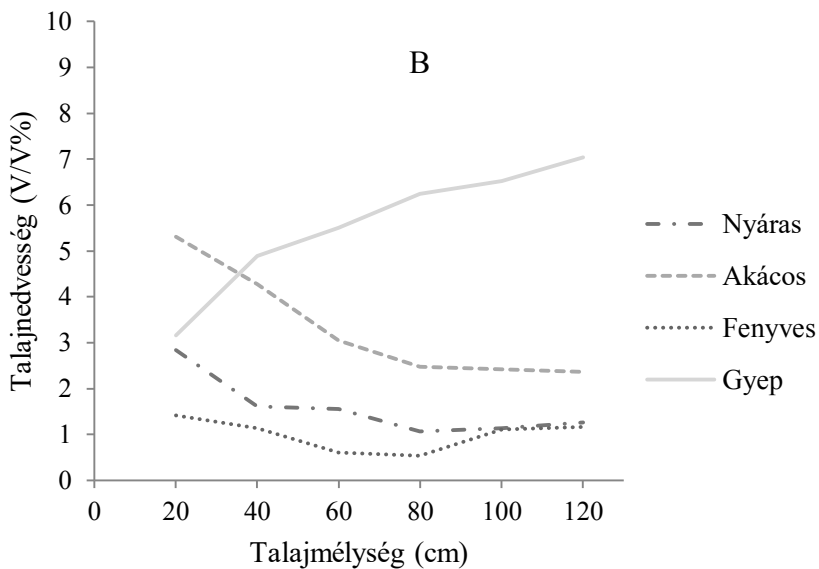
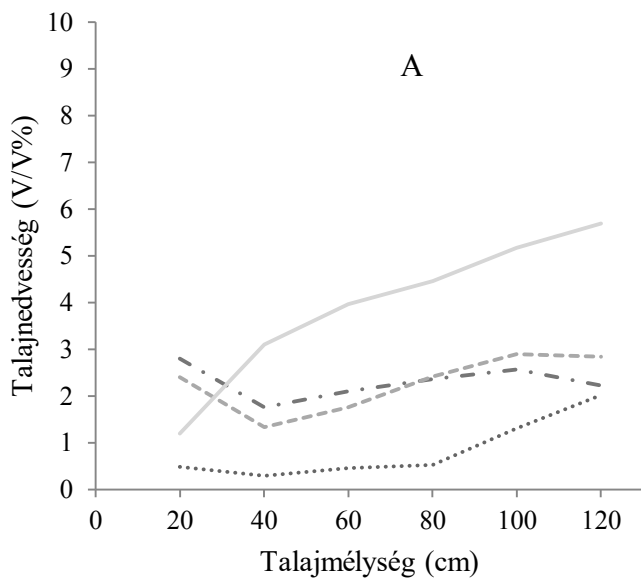
7. táblázat: A vizsgált homoki élőhelyeken mért talajnedvesség adatokra felírt kevert modellek statisztikai teszteredményei. A szignifikáns értékeket * jelöli

Márciusban a mélyebb rétegek felé kissé szárazodik a talaj, de nem sok különbség tapasztalható a vizsgált élőhelytípusok között. A felszín közelében az akác és a nyáras talaja nedvesebb a gyepekénél, de a mélyebb rétegekben nincs különbség. A fenyves talaja ezzel szemben a 40 és 60 cm közötti rétegben az összes vizsgált élőhelynél szárazabb. Áprilisra a felső talajrétegekben továbbra sincs eltérés a vizsgált élőhelytípusok között, de 40 cm alatt már a fenyves talaja az összes vizsgált mélységben szárazabb a gyepek és a lombhullató fafajok talajánál is. A 100 cm alatti rétegekben a nyáras talaja is szignifikánsan szárazabb a gyepekénél (8. ábra).

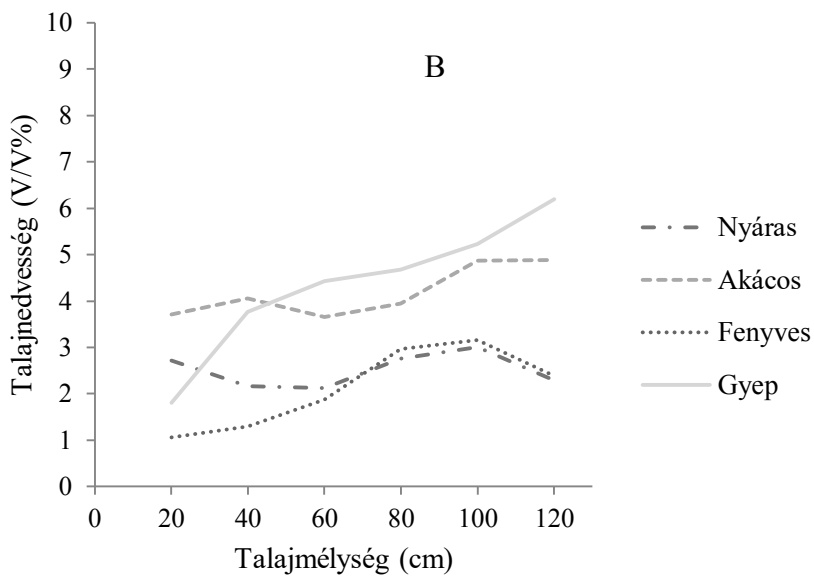
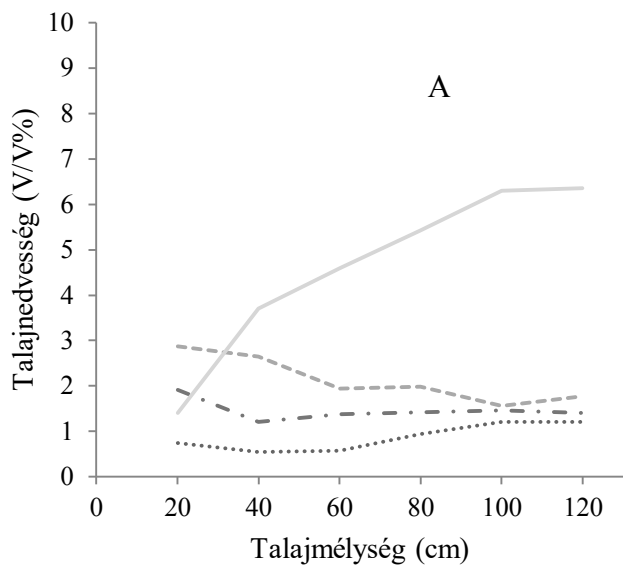
Júniusra a felszínen a nyáras és az akác talaja ugyan nedvesebb a gyepekénél, a mélyebb talajrétegekben azonban a fás közösségek alól távozott a víz. A legszárazabb egyértelműen a fenyvesek talaja. Ezzel szemben a gyepek alatti mélyebb talajrétegek megőrizték a tavaszi nedvességtartalmat. A júliusi állapot annyiban tér el az előbbiektől, hogy a mélyebb talajrétegekben a nyáras is elérte a fenyvesek szárazsági szintjét. Így a legnedvesebb erdő az akác maradt, mely a másik kettővel ellentétben a felszínen továbbra is nedvesebb a gyepeknél. Ezzel együtt azonban a mélyebb talajrétegekben mindhárom erdőtípusnál nedvesebbek a gyepek (9. ábra).



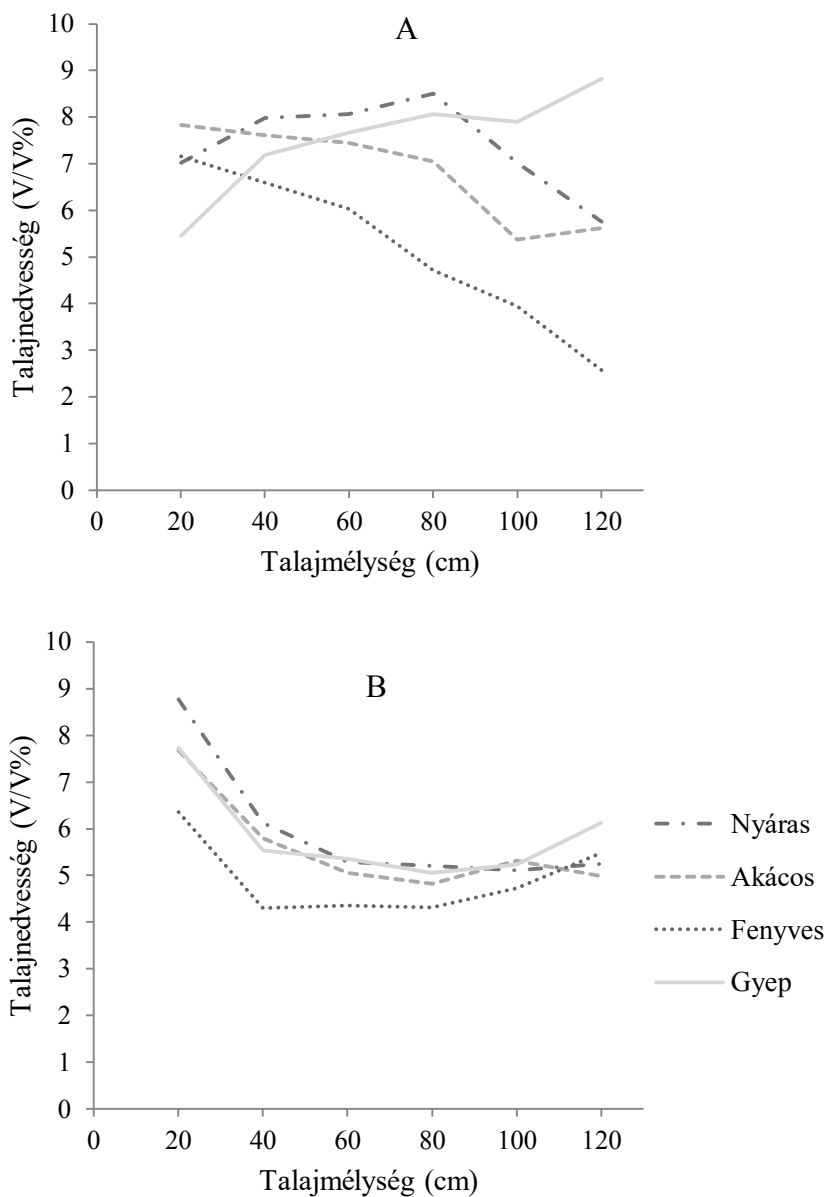
8. ábra: Márciusi (A) és áprilisi (B) talajnedvesség adatok átlagértékei a vizsgált homoki élőhelyeken



9. ábra: Júniusi (A) és júliusi (B) talajnedvesség adatok átlagértékei a vizsgált homoki élőhelyeken



10. ábra: Augusztusi (A) és októberi (B) talajnedvesség adatok átlagértékei a vizsgált homoki élőhelyeken



11. ábra: Decemberi (A) és januári (B) talajnedvesség adatok átlagértékei a vizsgált homoki élőhelyeken

Augusztusban tovább szárazodik az erdők talaja, szemben a mélyben jóval nagyobb nedvesség tartalmú gyepekkel. Októberben kezd feltöltődni a fás közösségek alatt a talaj nedvességtartalma, leggyorsabban az akácoknál indul meg ez a folyamat. A fenyves és a nyáras talaja azonban még mindig jelentősen szárazabb a gyepekhez képest (10. ábra).

Decemberben az akác és a nyáras nedvességtartalma elérte a gyepekét, a fenyves talaja azonban még mindig szárazabb az összes többi élőhelytípusénál. A fenyves talajának nedvességhépletei januárra töltődtek fel, ekkorra az egész vertikális profil mentén kiegyenlítődtek a talajnedvesség-viszonyok (11. ábra).

Megvitatás

A fák számos, egymással összefüggő módon befolyásolhatják mikrokozmoszukat. A lombkorona árnyékában a csökkenő besugárzás hatására nappal párásabb, hűvösebb mikroklíma alakul ki a nyílt területekhez képest. Éjjel ugyanez a borítás hőkonzervációt biztosít.²¹ Jelen vizsgálatban is tapasztaltuk a fák mikroklimatikus mérséklő hatását, a levegő páratartalmát és hőmérsékletét tekintve egyaránt. Ezen túl bizonyos talajtani jellemzőikben is kedvezőbb, kevésbé stresszelt körülmények jellemzik az erdőket. Ezek alapján feltételezhetjük, hogy nem egyedi esettel állunk szemben.

Az imént említett mérséklő hatást a fák lombjuk révén biztosítják. A lehulló csapadékvíz egy részét azonban ez a lombkorona felfogja, majd elpárologva intercepciós veszteséggé válik. Az avarréteg és a vele szoros kapcsolatban lévő humuszréteg a lombkoronán keresztüljutó csapadék bizonyos részét ugyancsak visszatartja, ami így szintén elpárolog. Azt Führer is megállapította,²² hogy a lombra hulló csapadék párologtatásának mértékére az erdőállomány jellemzőinek (mint pl. fafajok jellemzői; állomány kora, szerkezete, záródása, elegyaránya, szintezettsége; az egyes szintek záródása) is döntő hatása van. A lombkorona, mint biomassa produktum tömege (melyre a fajlagos levélfelület (*specific leaf area*, SLA) adatokból következtethetünk) hatással van arra is, hogy mennyi vizet vesz fel a növényegyed a környezetéből, ugyanis a transzspiráció elengedhetetlen a növényi biomassa termelés során.²³ Számos szerző kutatásaiból kiderült már, hogy a vegetációs periódus alatt az erdőállomány párologtatása (mind a transzspirációs, mind a lomb felületéről történő) általában nagyobb, mint a szomszédos gyepterületeké, a nagyobb levél- és lombfelület, illetve a nagyobb gyökerezési mélység miatt.²⁴

Mindezt alátámasztják a jelen kutatás eredményei is. Nemcsak azért, mert a vizsgált homoki gyepek és erdők talajnedvesség-értékei között az év nagy részében szignifikáns különbségeket tapasztaltunk, hanem mert eltérést

²¹ AGAM – BERLINER 2006.

²² FÜHRER 1992.

²³ BOLLA – KALICZ – GRIBOVSKI 2014.

²⁴ SCHENK – JACKSON 2002; NOSETTO – ESTEBAN – PARUELO 2005.

mutattunk ki az egyes erdőtípusok talajnedvességének dinamikájában is, amely összevethető a lombkorona-borításban mutatkozó különbségekkel.

Márciusban és áprilisban a gyepek talaja minden erdőtípushoz képest szárazabbnak bizonyult a felső 20 cm-es rétegben. A talajfelszín közelében egyértelműen érvényesült tehát a fák nedvességet visszatartó hatása. Ezzel együtt azonban júniustól októberig a 40 cm alatti rétegekben a gyepek talaja az összes erdőnél szignifikánsan nedvesebb volt. Ekkorra az összes erdőtípus elérte lombkorona-borításának maximumát, így magas intenzitással zajlott a transzspiráció. Ez a jelenség közrejátszik abban, hogy az erdők egyrészt feléljék a mélyebb rétegekben elérhető nedvességet, másrészt megakadályozzák annak csapadékkal történő után töltődését. Mivel a gyepeken nem érvényesülnek a lombkorona-borítás kedvező hatásai, a felszín közeli talajréteget az intenzív besugárzás, a szél, illetve a növényzet vízfelhasználása könnyen kiszárítja. Viszont a lágyszárúak gyökerei többnyire nem hatolnak olyan mélyre, mint a fás szárúaké, így sem a transzspiráció, sem a hidraulikus vízemelés mélyebb rétegeket érintő, talajnedvesség-csökkentő hatása nem érvényesül a gyepeken. Az erdőket jellemző temperált mikroklimatikus viszonyoknak tehát megvan az ára: a moderáló hatásért felelős lomb létrehozása és fenntartása során a fák szinte teljesen kimerítik a mélyebb talajrétegek nedvességtárházait. Decemberben a gyepek talaja a felső 20 cm-es talajrétegben még mindig szignifikánsan szárazabbnak bizonyult minden erdőtípushoz képest, viszont már csak a legalsó mért talajrétegben volt nedvesebb azoknál. Ez arra utal, hogy decemberben a lombhullató fajok lombvesztésének következtében, illetve az örökzöld erdőállományok csökkent párologtatása miatt már kimutathatóan megkezdődött a talaj nedvességtárházainak feltöltődése. Januára ez a feltöltődés befejeződik, a homoki gyepek és a lombos erdők talajnedvessége kiegyenlítődött az általunk vizsgált teljes vertikális profil mentén.

A különböző lombkorona-jelleggel bíró erdők összehasonlításakor azt tapasztaltuk, hogy a fenyvesek talaja a lombos erdőkétől is egész évben eltért. Vizsgálatunkban a fenyők képviselték az örökzöld fás szárúakat, lombkorona borításuk egész évben közel állandó értéket mutatott. Ebből következik, hogy a hulló csapadék egy részét a szokványos vegetációs időszakon kívül is nagyobb mértékben fogták fel, mint a lombhullató fajok. Ráadásul a naposabb, melegebb téli és kora tavaszi napokon akár aktívan is párologtathattak, szemben a lombhullató fajokkal, melyeknek ekkor nem volt párologtató felületük. A fenyvesekben 60 cm-es mélységig így már márciusban alacsonyabb talajnedvesség értékeket mérünk. Áprilisban a mélyebb talajrétegekben azonban a nyáras talajnedvessége is az akácósé alá süllyedt, ami az akácós későbbi lombfakadásával magyarázható. Júliusra az akácósok is felzárkóztak a nyárasokhoz: a talajnedvesség és a lombkorona-borítás értékeik között sem tapasztaltunk különbséget, a fenyvesek lombkorona-borítása és talajának szárazsága azonban mindkét lombos erdőt meghaladta. Augusztusra feltehetőleg a lombos erdők is kezdték kimeríteni a mélyebb talajrétegek nedvességtárházait, ekkorra a 60 cm alatti rétegekben nem különböztek a

fenyvestől. Októberben ezen rétegekben magasabb nedvességértékeket mértünk, a fák lombvesztése révén csökkent az aktív párologtatás mértéke. Decemberben már a felszín közeli nedvességértékek is emelkedtek: a lombos erdők talajnedvessége között csökkent a különbség, januárra meg is szűnt. A fenyves talajában történt legnehezebben a nedvesség utánpótlása, bizonyos rétegekben még januárban is szárazabbnak bizonyult a többi élőhelynél. A januári és márciusi állapotok szignifikancia-viszonyaikat tekintve nagyon hasonlóak, ami azt sugallja, hogy ezek a mérési alkalmak mutatják a talajok feltöltődött nedvességi állapotát.

Konklúziók és kitekintés

Vizsgálataink egyértelműen kimutatták, hogy a talajnedvesség éves vertikális dinamikájára jelentős hatást gyakorol az élőhely típusa. A különbségek nemcsak a homoki erdőket és gyepeket összevetve szignifikánsak, de a különböző funkcionális típusú fák alkotta erdők talajnedvessége is eltérő. Mindezzel összefüggésbe hozható lombkorona-borítás éves változása. Kutatásunk újdonságát az adja, hogy a talaj mélyebb rétegeiben is vizsgáltuk a nedvesség változását, és ezzel párhuzamosan mértük a fák mikrokörnyezetében uralkodó egyéb viszonyokat is (levegő hőmérséklete és páratartalma, lombkorona-borítás mértéke, talajtani paraméterek), így a kapott eredmények közvetlenül összevethetők.

Eredményeink rávilágítottak, hogy a mélyebb talajrétegek vízháztartása a fás borítású alföldi területeken a gyepekéhez képest kedvezőtlenebbül alakul. A fák mikrokörnyezetében létrejövő párasabb, kevésbé szélsőséges hőmérséklet-ingadozású viszonyok kedvező hatása csupán a felső talajrétegekben érvényesül. Kiemelkedő a fenyő fajok (*Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*) szárító hatása. A mélyebb talajrétegekben kialakuló száraz zónák átjárhatatlanok lehetnek a csapadék számára, így jelenlétük esetén az érintett erdőfoltokban esős időszakokban sincs talajvíz utántöltődés, ami az egész régió vízgazdálkodását kedvezőtlenül érintheti. Ráadásul a fa magoncok gyökerének is kihívást jelenthet áttörni egy extrém száraz talajzónán, ami így az egyes fajok esetén magyarázhatja a gyenge megújuló készséget, például a kocsánytalan tölgynél (*Quercus petraea*).²⁵ Más fajok, mint pl. a nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis*) nagy számban csíráznak a homokterületeken és magoncként kimondottan vitálisak, felnőni azonban sosem tudnak.²⁶ A klonális fásszárúakat ez a probléma kevésbé érinti, sarjaik ugyanis a már mélyen gyökerező anyanövény támogatását élvezik. Ilyen például a tájban természetes erdőfoltokat alkotó nyár (*Populus spp.*), illetve az ezekben megjelenő szintén klonális fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) és mirigyes bálványfa (*Ailanthus altissima*).

²⁵ VERNAY et al. 2018.

²⁶ ERDŐS et al. 2018.

A fenyvesek talaja kiemelkedő szárazsága mellett szignifikánsan kisebb humusz tartalmú volt a nyárasokhoz képest. Az akác talaja ugyan többször nedvesebbnek bizonyult a többi erdőtípusénál, valamint Szabó és munkatársai Kiskunságban végzett kutatásából kiderül, hogy ez a sekélyen gyökerező fafaj nem áll közvetlen kapcsolatban a talajvízzel.²⁷ Eredményeink azonban bizonyítják, hogy mind a felső, mind az alsóbb talajrétegekben szignifikánsan magasabb nitrogéntartalom mérhető az akácos talajában, így ez a faj nitrogénkötő tulajdonságával okoz problémát az őshonos növényzet számára. Ezek alapján a homokhátság területén az őshonosnak mondható fehér nyárral (*Populus alba*) történő fás telepítés javasolható, de ez is csak korlátozott mértékben. Sok esetben azért döntöttek valamelyik fenyő faj mellett, mert az adott terület alkalmatlan zárt nyáras állományok eltartására. Eredményeink alapján ez esetben inkább nyílt nyáras telepítés javasolható, vagy amennyiben ez nem felel meg a hatályos erdőtörvénynek, úgy az aktív erdőtelepítés mellőzése ajánlott az adott területen. Az akácos és fenyves telepítése a homokhátságon talajvédelmi célból indokolatlan, a régió vízgazdálkodására gyakorolt hatásuk pedig kedvezőtlen, így telepítésük mérséklését javasolhatjuk, különösen a fenyő esetén.

A talajvíz mélysége mellett a talaj kötöttségétől függ, hogy a talajvízből történő növényi vízfelvétel megvalósulhat-e.²⁸ Felmerül a kérdés, hogy hasonló kísérleti elrendezéssel milyen eredményeket kaphatunk kötöttebb talajtípusok nedvességének vizsgálatakor? Arról számos publikációt olvashatunk, hogy más éghajlatokon található élőhelyeken, melyeket fás és lágyszárú növények tartós együttélése alakított ki, horizontálisan meddig terjed ki a fák talajnedvességet befolyásoló hatása.²⁹ A hazai (alföldi) erdőkre vonatkoztatva azonban ezt még nem vizsgálták. Az sem egyértelmű, hogy más klímán fekvő homoktalajok esetében hasonló dinamika tapasztalható-e. Vizsgálatunkat érdemes lenne tehát kötött talajon is elvégezni, illetve homoktalajon olyan klímaöbven, ahol a nyári és téli évszakokban nem tapasztalhatók a mi éghajlatunkra jellemző szélsőségek, azaz nyáron kisebb az evapotranszpirációs veszteség vagy télen is zajlik bizonyos mértékű aktív párolgatás. Ezen kérdések megválaszolása további kutatás tárgyát képezi.

Irodalom

AGAM – BERLINER 2006 = Agam, N. – Berliner, P. R.: Dew formation and water vapour adsorption in semi-arid environments – A review. *Journal of Arid Environments* 65 (2006) 572–590.

²⁷ SZABÓ et al. 2012.

²⁸ SZABÓ et al. 2012.

²⁹ MUNOZ-REINOSO 2001; CHEN et al. 2007; CUBERA – MORENO 2007.

- BERNHARD-REVERSAT 1982 = Bernhard-Reversat, F.: Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savanna. *Oikos* 38 (1982) 321–32.
- BÍRÓ 2008 = Bíró M.: A Duna–Tisza köze fűszárú vegetációjának átalakulása a 18. század óta, különös tekintettel a száraz homokterületekre. In: Kröel-Dulay Gy. – Kalapos T. – Mojzes A. (szerk.): *Talaj-vegetáció-klíma kölcsönhatások. Köszöntjük a 70 éves Láng Editet*. Vácrátót : MTA ÖBKI, 2008, 23–38.
- BOLLA – KALICZ – GRIBOVSZKI 2014 = Bolla B. – Kalicz P. – Gribovszki Z.: Erdőállományok vízháztartása a kiskunsági homokhátságon. *Erdészeti Közlemények* 4:2 (2014) 21–31.
- BORSY 1968 = Borsy Z.: The surface of the region between the Danube and the Tisza. *Acta Geographica* 7 (1968) 45–57.
- CAO et al. 2007 = Cao, S. – Chen, L. – Xu, C. – Liu, Z.: Impact of three soil types on afforestation in China's Loess Plateau: Growth and survival of six tree species and their effects on soil properties. *Landscape and Urban Planning* 83 (2007) 208–217.
- CHEN et al. 2007 = Chen, L. – Huang, Z. – Gong, J. – Fu, B. – Huang, Y.: The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. *Catena* 70 (2007) 200–208.
- CUBERA – MORENO 2007 = Cubera E. – Moreno G.: Effect of single *Quercus ilex* trees upon spatial and seasonal changes in soil water content in dehesas of central western Spain. *EDP Sciences* 64 (2007) 355–364.
- D'ODORICO et al. 2013 = D'Odorico, P. – He, Y. – Collins, S. – De Wekker, S. F. J. – Engel, V. – Fuentes, J. D.: Vegetation-microclimate feedbacks in woodland-grassland ecotones. *Global Ecology and Biogeography* 22 (2013) 364–379.
- ERDŐS et al. 2018 = Erdős L. – Kröel-Dulay G. – Bátori Z. – Kovács B. – Németh C. – Kiss P. J. – Tölgyesi C.: Habitat heterogeneity as a key to high conservation value in forest-grassland mosaics. *Biological Conservation* 226 (2018) 72–80.
- ESCUERDO – GARCIA – GOMEX 1985 = Escuerdo, A. – Garcia, B. – Gomex, J. M.: The nutrient cycling in *Quercus rotundifolia* and *Q. pyrenaica* ecosystems of Spain. *Oecologia Plantarum* 6 (1985) 73–86.
- FATTET et al. 2011 = Fattet, M. – Fu, Y. – Ghestem, M. – Ma, W. – Foulonneau, M. – Nespoulous, J. – Le Bissonnais, Y. – Stokes, A.: Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: Relationship between aggregate stability and shear strength. *Catena* 87 (2011) 60–69.

- FÜHRER 1992 = Führer E.: Intercepció meghatározása bükk, kocsánytalan tölgy és lucfenyő erdőben. *Vízügyi Közlemények* 74:3 (1992) 281–294.
- HOFFMANN – Usoltsev 2001 = Hoffmann, C. W. – Usoltsev, V. A.: Modelling root biomass distribution in *Pinus sylvestris* forests of the Turgai Depression of Kazakhstan. *Forest Ecology and Management* 149 (2001) 103–114.
- KELLMANN 1997 = Kellmann, M.: Soil enrichment by neotropical savanna trees. *Journal of Ecology* 67 (1997) 565–577.
- KLEYER et al. 2008 = Kleyer, M. – Bekker, R. M. – Knevel, I. C. – Bakker, J. P. – Thompson, K. – Sonnenschein, M. – Poschlod, P. – Van Groenendael, J. M. – Klimes, L. – Klimesova, J. – Klotz, S. – Rusch, G. – Hermy, M. – Adriaens, D. – Boedeltje, G. – Bossuyt, B. – Dannemann, A. – Endels, P. – Gotzenberger, L. – Hodgson, J.G. – Jackel, A.-K. – Kuhn, I. – Kunzmann, D. – Ozinga, W. A. – Romermann, C. – Stadler, M. – Schlegelmilch, J. – Steendam, H. J. – Tackenberg, O. – Wilmann, B. – Cornelissen, J. H. C. – Eriksson, O. – Garnier, E. – Peco, B.: The Leda Traitbase: A database of life-history traits of northwest European flora. *Journal of Ecology* 96 (2008) 1266–1274.
- LEE et al. 2018 = Lee, E. – Kumar, P. – Barron-Gafford, G. A. – Hendryx, S. M. – Sanchez-Canete, E. P. – Minor, R. L. – Collela, T. – Scott, R. L.: Impact of hydraulic redistribution on multispecies vegetation water use in a semiarid savanna ecosystem: an experimental and modeling synthesis. *Water Resources Research* (an AGU Journal) 54:6 (2018) 4009–4027.
- MA et al. 2010 = Ma, S. – Concilio, A. – Oakley, B. – North, M. – Chen, J.: Spatial variability in microclimate in a mixed-conifer forest before and after thinning and burning treatments. *Forest Ecology and Management* 259 (2010) 904–915.
- MOLNÁR 2003 = Molnár Zs.: *A Kiskunság száraz homoki növényzete*. Kecskemét : Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóság – MTA ÖBKI, 2003.
- MUNOZ-REINOSO 2001 = Munoz-Reinoso, J. C.: Vegetation changes and groundwater abstraction in SW Donana, Spain. *Journal of Hydrology* 242 (2001) 197–209.
- NOSETTO – ESTEBAN – PARUELO 2005 = Nosetto, M. D. – Esteban, E. G. – Paruelo, J. M.: Land use change and water losses. The case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina. *Global Change Biology* 11 (2005) 1101–1117.
- PINHEIRO et al. 2018 = Pinheiro, J. – Bates, D. – DebRoy, S. – Sarkar, D. – R Core Team: *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1–128; <http://CRAN.R-project.org/package=nlme> (Letöltés: 2019.05.04.)

- RHOADES – ECKERT – COLEMAN 1998 = Rhoades, C. C. – Eckert, G. E. – Coleman, D. C.: Effect of pasture trees on soil nitrogen and organic matter: implications for tropical montane forest restoration. *Restoration Ecology* 6 (1998) 262–270.
- SCHENK – JACKSON 2002 = Schenk, H. J. – Jackson, R. B.: The global biogeography of roots. *Ecological Monographs* 72 (2002) 311–328.
- SCHOLES 1990 = Scholes, R. J.: The influence of soil fertility on the ecology of African savannas. *Journal of Biogeography* 17 (1990) 417–19.
- SPECHT 1957 = Specht, R. L.: Dark island heath (ninety-mile plain, South Australia) – IV. Soil moisture patterns produced by rainfall interception and stem-flow. *Australian Journal of Botany* 5 (1957) 137–150.
- STAYER – ARCHIBALD – LEVIN 2011 = Stayer, A.C. – Archibald, S. – Levin, S. A.: The global extent and determinants of savanna forest as alternative biome states. *Science* 334–6053 (2011) 230–232.
- SZABÓ et al. 2012 = Szabó A. – Kiss K. – Gribovszki Z. – Tóth T.: Erdők hatása a talaj és altalaj sófórgalmára, valamint a talaj vízsztintjére. *Agrokémia és Talajtan* 61-1 (2012) 195-209.
- SZOTT – FERNANDES – SANCHEZ 1991 = Szott, L. T. – Fernandes, E. C. M. – Sanchez, P. A.: Soil-plant interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 45 (1991) 127–52.
- TIEDEMANN – KLEMMEDSON 1977 = Tiedemann, A. R. – Klemmedson, J.O.: Effect of mesquite trees on vegetation and soils in desert grassland. *Journal of Range Manage* 30 (1977) 316–367.
- TÖLGYESI et al. 2015 = Tölgyesi C. – Zalatnai M. – Erdős L. – Bátori Z. – Hupp N. R. – Körmöczy L.: Unexpected ecotone dynamics of a sand dune vegetation complex following water table decline. *Journal of Plant Ecology* 9 (2015) 40–50.
- VAN LANGEVELDE et al. 2003 = Van Langevelde, F. – Van De Vijver, C. A. D. M. – Kumar, L. – Van De Koppel, J. – Ridder, N. D. – Van Andel, J. – Skidmore, A. K. – Hearne, J. W. – Stroosnijder, L. – Bond, W. J. – Prins, H. – Rieterk, M.: Effects of fire and herbivory on the stability of savanna ecosystems. *Ecology* 84 (2003) 337–350.
- VERNAY et al. 2018 = Vernay, A. – Malagoli, P. – Fernandez, M. – Perot, T. – Améglio, T. – Balandier, P.: Carry-over benefit of high internal N pool on growth and function of oak seedlings (*Quercus petraea*) competing with *Deschampsia cespitosa*. *Forest Ecology and Management* 419–420 (2018) 130–138.

WELTZIN – COUGHENOUR 1990 = Weltzin, J. F. – Coughenour, M. B.: Savanna tree influence on understory vegetation and soil nutrients in northwestern Kenya. *Journal of Vegetation Science* 1 (1990) 325–334.

Below-ground deserts: trees create water-free lower layers in sand soils

ALIDA ANNA HÁBENCZYUS

It is well known how trees can moderate understory microclimatic conditions compared to grasslands but fewer studies investigate the effects on deeper soil layers. The objectives of this study were to characterize the annual dynamics of vertical soil moisture distribution under compared to grasslands on sandy soils and to assess whether the functional types of the tree species influence their effect. We monitored the soil moisture content in adjacent poplar, robinia and pine forests and grasslands in 120 cm deep sections with eight spatial replicates over an entire year. We also measured the near-surface microclimate. Our results showed that canopies can temper microclimatic extremes all over the year and create moister topsoil conditions compared to grasslands. Regarding deeper soil layers, in grasslands we found about 5% soil moisture all over the year, while the lower soil layers of forests were significantly drier from spring till autumn. Moisture deficit became apparent in pine, poplar and robinia forests from March, April and May, respectively. The soil moisture resources were recharged between October and December. The results of the present study indicate that the cost of the microclimate-moderating effect of trees is severe depletion of deep moisture resources due to water-uptake by the roots and the interception of precipitation by the canopy. These effects are most pronounced in pine plantations. In our study we described extremely dry lower layers of sandy soils under forests, which can contribute to regional water balance problems and to the deficient recruitment of certain native trees.